

JP8017796

Publication Title:

METHOD AND APPARATUS FOR DRY ETCHING AND SEMICONDUCTOR DEVICE

Abstract:

PURPOSE: To stabilize the form of a deep groove and its processing by performing dry etching, increasing the density of ion current with the processing time of a substance to be processed with a processing gas.

CONSTITUTION: A wafer 6 is put on a sample table in vacuum processing chamber 1, and is processed by etching with gas plasma. Namely, etching for a trench construction of an Si wafer is performed with an SiO₂ mask so as to form a trench construction having a width of 0.3μm. First of all, microwave power is made to be 500W so that the density of ion current may be about 8mA/cm². Next the power control of a microwave generator is performed by a computer as the aspect ratio of an etching pattern becomes large. When etching is performed making the initial value of the microwave power 500W, the microwave power rises with time. When the etching is continued by making the microwave power 3,000W, the aspect ratio advances up to 60, and the ion current density becomes 30mA/cm².

Data supplied from the esp@cenet database - <http://ep.espacenet.com>

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-17796

(43) 公開日 平成8年(1996)1月19日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 21/3065

C 2 3 F 4/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

A 9352-4K

H 0 1 L 21/ 302

B

審査請求 未請求 請求項の数62 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平6-146014

(22) 出願日 平成6年(1994)6月28日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 伊澤 勝

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 組橋 孝生

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 大路 譲

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

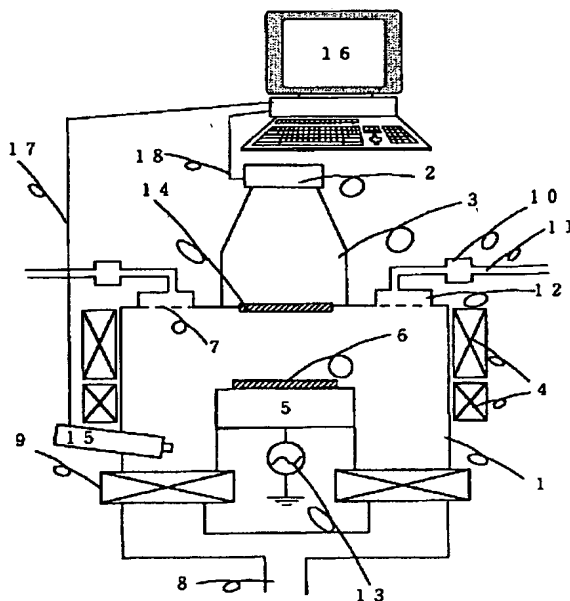
(54) 【発明の名称】 ドライエッチング装置とその方法および半導体装置

(57) 【要約】

【構成】 イオンがパターンによらず入射量が一定であることおよび底面で中性粒子に変化するという性質を用いて、パターン底面への全中性粒子の入射量がパターンの深さに依存しないように、イオンの入射量を制御する。イオン入射量の制御方法としてマイクロ波パワーをリアルタイム制御する。

【効果】 中性粒子の量がパターンに依存しないので、エッチング速度のパターン依存性が抑えられ、深い構造をもつエッチングが可能になる。

図1



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空処理室内に少なくとも1種の処理ガスを導入する手段を有し、前記処理ガスを真空室外に排気する排気装置を有し、前記真空処理室内に高周波を印加できる電極を有し、前記真空処理室内に設置した被処理物を処理するドライエッチング装置において、前記被処理物が前記処理ガスで処理される時間と伴にイオン電流密度を増加させることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項2】 請求項1において、前記被処理物が前記処理ガスで処理された時間に伴ってイオン電流密度を 8 mA/cm^2 から 30 mA/cm^2 まで増加するドライエッチング装置。

【請求項3】 請求項1において、前記被処理物の表面形状の深さ／幅の増加に伴ってイオン電流密度を増加させるドライエッチング装置。

【請求項4】 請求項1において、前記被処理物の表面形状の7以上でイオン電流密度を 8 mA/cm^2 から 30 mA/cm^2 まで増加させるドライエッチング装置。

【請求項5】 真空処理室内に少なくとも1種の処理ガスを導入する手段を有し、前記処理ガスを真空室外に排気する排気装置を有し、プラズマを生成するための高周波を前記真空処理室内に導入する手段を有し、前記真空処理室内に高周波を印加できる電極を有し、前記真空処理室内に設置した被処理物を処理するドライエッチング装置において、前記被処理物が前記処理ガスで処理される時間と伴に前記プラズマを生成するための前記高周波のパワーを増加させることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項6】 請求項5において、前記被処理物が前記処理ガスで処理された時間に伴ってプラズマを生成するための前記高周波のパワーを 800 W から 3000 W まで増加させるドライエッチング装置。

【請求項7】 真空処理室内に少なくとも1種の処理ガスを導入する手段を有し、前記処理ガスを真空室外に排気する排気装置を有し、プラズマを生成するための高周波を前記真空処理室内に導入する手段を有し、前記真空処理室内に高周波を印加できる電極を有し、前記真空処理室内に設置した被処理物を処理するドライエッチング装置において、前記被処理物の表面形状の深さ／幅の増加に伴って前記高周波のパワーを増加させることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項8】 請求項7において、前記被処理物の表面形状の深さ／幅7以上で前記プラズマを生成するための前記高周波のパワーを増加させるドライエッチング装置。

【請求項9】 少なくとも1種の処理ガスを用い、高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスから生成したイオンを被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記被処理物が前記処理ガスで処理され

2

る時間と伴に前記イオンによるイオン電流密度を増加させることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項10】 少なくとも1種の処理ガスを用い、高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスから生成したイオンを被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記被処理物の表面形状の深さ／幅の増加に伴って前記イオンによるイオン電流密度を増加させることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項11】 請求項10において、前記被処理物の表面形状の深さ／幅が7以上でイオン電流密度を 8 mA/cm^2 から 30 mA/cm^2 まで増加させるドライエッチング方法。

【請求項12】 少なくとも1種の処理ガスを用い、第1の高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスからイオンを生成し、被処理物に印加する第2の高周波によってイオンを加速し前記被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記被処理物が前記処理ガスで処理される時間と伴に前記第1の高周波のパワーを増加させることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項13】 請求項12において、前記被処理物の表面形状の深さ／幅の増加に伴って前記第1の高周波のパワーを増加させるドライエッチング方法。

【請求項14】 請求項12において、前記被処理物の表面形状の深さ／幅の7以上で前記第1の高周波のパワーを増加させるドライエッチング方法。

【請求項15】 請求項12において、前記被処理物が前記処理ガスで処理される時間と伴に前記第1の高周波のパワーを 800 W から 3000 W まで増加させるドライエッチング方法。

【請求項16】 真空処理室内に少なくとも1種の処理ガスを導入する手段を有し、前記処理ガスを真空室外に排気する排気装置を有し、ガス組成分析装置を有し、前記真空処理室内に高周波を印加できる電極を有し、前記真空処理室内に設置した被処理物を処理するドライエッチング装置において、前記ガス組成分析装置から得られる測定結果を基に、エッチング条件を実時間制御することを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項17】 請求項16において、前記ガス組成分析装置から得られるエッチング反応生成物の分圧の測定結果を基に、エッチング条件を実時間制御するドライエッチング装置。

【請求項18】 請求項17において、前記ガス組成分析装置から得られるエッチング反応生成物の分圧の低下に伴ってイオン電流密度を増加させるドライエッチング装置。

【請求項19】 請求項16において、プラズマを生成するための高周波を前記真空処理室内に導入する手段を有し、前記ガス組成分析装置から得られる測定結果を基に

3

前記プラズマを生成するための前記高周波のパワーを変化させるドライエッチング装置。

【請求項20】請求項19において、前記ガス組成分析装置から得られるエッチング反応生成物の分圧の変化に伴って前記プラズマを生成するための前記高周波のパワーを変化させるドライエッチング装置。

【請求項21】請求項19において、前記ガス組成分析装置から得られるエッチング反応生成物の分圧の低下に伴って前記プラズマを生成するための前記高周波のパワーを増加させるドライエッチング装置。

【請求項22】請求項16において、前記ガス組成分析装置から得られる測定結果を基に前記処理ガスのガス流量もしくは組成をかえるドライエッチング装置。

【請求項23】請求項22において、前記ガス組成分析装置から得られるエッチング反応生成物の分圧の低下に伴って前記処理ガスのガス流量もしくは組成をかえるドライエッチング装置。

【請求項24】請求項5, 7, 19, 20または21において、前記プラズマを生成するための前記高周波のパワーを500Wから3000Wまでの間でコンピュータで制御するドライエッチング装置。

【請求項25】少なくとも1種の処理ガスを用い、高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスから生成したイオンを被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、プラズマ中のガス組成の変化を基に、エッチング条件を実時間制御することを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項26】請求項25において、前記被処理物から発生する反応生成物の分圧の変化に伴って前記イオンによるイオン電流密度を変化させるドライエッチング方法。

【請求項27】請求項25において、前記被処理物から発生する反応生成物の分圧の低下に伴って前記イオンによるイオン電流密度を増加させるドライエッチング方法。

【請求項28】少なくとも1種の処理ガスを用い、第1の高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスからイオンを生成し、被処理物に印加する第2の高周波によってイオンを加速し前記被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、プラズマ中のガス組成の変化に伴って前記第1の高周波のパワーを変化させることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項29】請求項28において、前記被処理物から発生する反応生成物の分圧の変化に伴って前記第1の高周波のパワーを変化させるドライエッチング方法。

【請求項30】請求項28において、前記被処理物から発生する反応生成物の分圧の低下に伴って前記第1の高周波のパワーを増加させるドライエッチング方法。

4

【請求項31】請求項25において、前記プラズマ中のガス組成の変化に伴って、前記処理ガスのガス流量もしくは組成をかえるドライエッチング方法。

【請求項32】請求項31において、前記被処理物から発生する反応生成物の分圧の変化に伴って前記処理ガスのガス流量もしくは組成をかえるドライエッチング方法。

【請求項33】請求項25において、前記プラズマ中のガス組成変化に伴って前記イオンによるイオン電流密度および前記処理ガスのガス流量もしくは組成を同時に変化させるドライエッチング方法。

【請求項34】請求項25において、前記被処理物から発生する反応生成物の分圧の変化に伴って前記イオンによるイオン電流密度および前記処理ガスのガス流量もしくは組成を同時に変化させるドライエッチング方法。

【請求項35】請求項28において、前記プラズマ中のガス組成変化に伴って前記第1の高周波のパワーおよび前記処理ガスのガス流量もしくは組成を同時に変化させるドライエッチング方法。

【請求項36】請求項28において、前記被処理物から発生する反応生成物の分圧の変化に伴って前記第1の高周波のパワーおよび前記処理ガスのガス流量もしくは組成を同時に変化させるドライエッチング方法。

【請求項37】請求項12, 13, 14, 15, 28, 29, 30, 35または36において、第1の高周波のパワーを500Wから3000Wまでの間でコンピュータで制御するドライエッチング方法。

【請求項38】少なくとも1種の処理ガスを用い、高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスから生成したイオンを被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記被処理物のエッチングされる部分における前記処理ガスおよび前記処理ガスから前記プラズマ中で生成される中性粒子および前記イオンが被処理物に入射することによって生じる中性粒子の全入射量が、前記被処理物の表面形状に依存しないことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項39】請求項38において、前記中性粒子の全入射量が、前記被処理物の表面形状に依存しないように前記イオンによるイオン電流密度を制御するドライエッチング方法。

【請求項40】少なくとも1種の処理ガスを用い、第1の高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスからイオンを生成し、被処理物に印加する第2の高周波によってイオンを加速し前記被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記被処理物のエッチングされる部分における前記処理ガスおよび前記処理ガスから前記プラズマ中で生成される中性粒子および前記イオンが被処理物に入射することによって生じる中性粒子

5

の全入射量が、前記被処理物の表面構造に依存しないように前記第1の高周波のパワーを制御することを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項41】少なくとも1種の処理ガスを用い、高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスから生成したイオンを被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、全圧3mTorr以上、エッチング率1以下、かつ前記イオンによるイオン電流密度が $30\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上でエッチングを行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項42】少なくとも1種の処理ガスを用い、高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスから生成したイオンを被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、全圧0.5mTorr以上3mTorr以下、エッチング率1以下、かつイオン電流密度が $8\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上であることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項43】少なくとも1種の処理ガスを用い、高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスから生成したイオンを被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記イオンの平均運動エネルギーが100eV以下、かつ前記イオンによるイオン電流密度が $8\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上であることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項44】少なくとも1種の処理ガスを用い、高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスから生成したイオンを被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記被処理物における被エッチング物が絶縁物で、前記イオンの平均運動エネルギーが500eV以下、かつ前記イオンによるイオン電流密度が $8\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上であることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項45】真空処理室内に少なくとも1種の処理ガスを導入する手段を有し、前記処理ガスを真空室外に排気する排気装置を有し、プラズマを生成するための高周波を前記真空処理室内に導入する手段を有し、前記真空処理室内に高周波を印加できる電極を有する前記真空処理室内に設置した被処理物を処理するドライエッチング装置において、プラズマを生成するための前記高周波がパルスかつ最大瞬間出力が3000W以上であることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項46】請求項45において、プラズマを生成するための前記高周波が $50\mu\text{s}$ 以上の間隔で $50\mu\text{s}$ から10msの幅のパルスであるドライエッチング装置。

【請求項47】少なくとも1種の処理ガスを用い、第1の高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスからイオンを生成し、被処理物に印加す

6

る第2の高周波によってイオンを加速し前記被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記第1の高周波がパルスかつ最大瞬間出力が3000W以上であることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項48】請求項47において、プラズマを生成するための前記高周波が $50\mu\text{s}$ 以上の間隔で $50\mu\text{s}$ から10msの幅のパルスであるドライエッチング方法。

【請求項49】真空処理室内に少なくとも1種の処理ガスを導入する手段を有し、前記処理ガスを真空室外に排気する排気装置を有し、前記真空処理室内で発生するイオンの速度を加速させる電極を有し、前記真空処理室内に設置した被処理物を処理するドライエッチング装置において、前記被処理物のエッチングされる部分における前記処理ガスから生じる中性粒子の割合を前記イオンによる電流密度を制御することによって前記被処理物表面上の異なった形状に対するエッチングがほぼ同時に終了することを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項50】請求項49において、プラズマを生成するための高周波を前記真空処理室内に導入する手段を有し、前記被処理物のエッチングされる部分における前記処理ガスから生じる中性粒子の割合を前記プラズマを生成するための前記高周波のパワーを制御することによって前記被処理物表面上の異なった形状に対するエッチングがほぼ同時に終了するドライエッチング装置。

【請求項51】少なくとも1種の処理ガスを用い、被処理物に印加する高周波によってイオンを加速し前記被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記被処理物のエッチングされる部分における前記処理ガスから生じる中性粒子の割合を前記イオンによる電流密度を制御することによって前記被処理物表面上の異なった形状に対するエッチングがほぼ同時に終了することを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項52】少なくとも1種の処理ガスを用い、第1の高周波によってプラズマを発生させ、前記プラズマ中で前記処理ガスからイオンを生成し、被処理物に印加する第2の高周波によってイオンを加速し前記被処理物に入射することによって前記被処理物をエッチングするドライエッチング方法において、前記被処理物のエッチングされる部分における前記処理ガスから生じる中性粒子の割合を前記第1の高周波のパワーを制御することによって前記被処理物表面上の異なった形状に対するエッチングがほぼ同時に終了することを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項53】容量絶縁膜と前記容量絶縁膜に接続された二つの電極を有する半導体装置において、前記電極のうち少なくとも一つの電極も構造に複数種類の異なった深さの溝もしくは穴を有することを特徴とする半導体装

7

【請求項54】請求項53において、前記電極のうち少なくとも一つ電極の構造に形成された溝がアスペクト比7以上である半導体装置。

【請求項55】一つのスイッチ用トランジスタと一つの電荷蓄積容量を有するメモリセルを含み、前記電荷蓄積容量が前記スイッチ用トランジスタの上部に形成された半導体記憶装置において、前記電荷蓄積容量と前記スイッチ用トランジスタを電氣的に接続する電極の構造に複数種類の異なった深さの溝もしくは穴を有することを特徴とする半導体記憶装置。

【請求項56】請求項55において、前記電荷蓄積容量と前記スイッチ用トランジスタの間に形成された電極に、アスペクト比7以上の異なった深さの溝もしくは穴を有する半導体装置。

【請求項57】請求項1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 45, 46, 49または50において、前記プラズマを制御するための複数種類以上の磁界を発生させる手段を有するドライエッチング装置。

【請求項58】請求項9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48, 51または52において、複数種類の磁界によって前記高周波によって発生するプラズマを安定に高密度化するドライエッチング方法。

【請求項59】請求項58において、Siの塩素ガスエッチングの被処理物を100℃以下に冷却するドライエッチング方法。

【請求項60】請求項9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48, 51, 52, 58または59において、エッチングしない部分を保護するマスク材料が、前記プラズマによって熱分解しないように、前記マスク材料を無機物とするドライエッチング方法。

【請求項61】請求項9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48, 51, 52, 58または59において、エッチングしない部分を保護するマスク材料が、前記プラズマによって熱分解しないように、前記マスク材料に200℃以下で熱分解しない、もしくは200℃以下で融解しない材料を用いるドライエッチング方法。

【請求項62】請求項1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 3

8

3, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 57, 58, 59, 60または61のいずれか一つの装置もしくは方法を用い、請求項53, 54, 55または56の半導体装置を製造する方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体の微細加工に好適なドライエッチング装置に係り、特に、深孔形状および深溝形状を、安定かつ高信頼性のある加工を実現するドライエッチング装置に関する。

【0002】

【従来の技術】LSIの微細化に伴い、LSIパターン形成技術において、アスペクト比（パターンの深さ／溝幅）の高いパターンを精度よく形成する技術が必要となっている。例えば、LSIパターン形成技術の一つであるドライエッチング技術では、ゲート加工エッチングでレジストマスク1μm厚に対してパターン幅は0.1μmとなり、アスペクト比10程度の加工が必要となっている。

【0003】マイクロ波プラズマによるpoly-Siゲートエッチングの例として、1992年プロシーディング・オブ・ドライプロセスシンポジウム（Proceeding of Dry Process Symposium）p. 211にアスペクト比5までのpoly-Siゲート加工の例が報告されている。

【0004】この他、DRAMキャパシタ用や素子分離のためのSi深溝エッチング技術として、臭素ガスを使ったRIE（リアクティブイオンエッチング：Reactive Ion Etching）によるアスペクト比40のSi深溝エッチングの例が、1991年インターナショナル・エレクトロニクス・デバイス・ミーティング（International electron devices meeting）32.4.1に報告されている。また塩素ガスを使ったRIEによるSi深溝エッチングをアスペクト比26まで検討した報告が、1990年プロシーディング・オブ・ドライプロセスシンポジウム（Proceeding of Dry Process Symposium）p. 123にある。

【0005】この他、コンタクトホール形成のためのSiO₂深孔エッチング技術として、マイクロ波プラズマによるアスペクト比10程度までのSiO₂コンタクトホールエッチングの例が、1989年春季応用物理学関係連合講演会1p-L-6や、1993年春季応用物理学関係連合講演会31a-ZE-3に報告されている。

【0006】この他、パターン形成において前述の高アスペクト比加工の他、被処理物下地保護のため、下地が被エッチング膜に比べエッチングされにくいという性質（選択性）が高いことが必要となっている。そのようなエッチング技術としてプラズマ発生に必要なマイクロ波をパルス化することによって選択比40を実現するとい

う報告が1993年プロシーディング・オブ・ドライプロセスシンポジウム (Proceeding of Dry Process Symposium) p. 79 でなされた。

【0007】この他、プロセスを実時間制御することによって、プロセス精度を向上させる技術として特開平5-35305号、特開平5-120256号、特開平5-108107号公報がある。エッチングプロセスにおける同時測定および実時間制御法として、パターンからの反射光を利用してエッチング制御を行う方法として特公平5-46095号公報、プラズマの発光を用いる方法として特公平5-49756号公報、被処理物の温度測定を行い被処理物の温度を一定となすように温度制御する方法として特公平5-65589号公報がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従来のパターン形成方法やパターン形成装置を用いて高アスペクト比パターンを形成するときには、パターン底面の加工速度にアスペクト比依存性があるという問題があった。すなわち、パターンのアスペクト比が高くなるほど、パターン底面の加工速度が減少した。加工速度の減少はアスペクト比10以上で顕著であった。例えば、ドライエッチング技術において1990年プロシーディング・オブ・ドライプロセスシンポジウム (Proceeding of Dry Process Symposium) p. 123 の報告では、アスペクト比5程度のパターンに比べ、アスペクト比10程度のパターンでは加工速度が7割程度に遅くなった。

【0009】この他、1991年インターナショナル・エレクトロン・デバイス・ミーティング (International electron devices meeting) 32.4.1の報告では、深溝パターン加工においてアスペクト比20では加工速度が300nm/minであるのに対し、アスペクト比24では60nm/minとアスペクト比20以上で加工速度が1/5に減少した。

【0010】パターン形成技術では、粒子線やエネルギー線を被処理物に入射させ、それらのエネルギーによりパターン底面での化学反応を促進する。加工速度にアスペクト比依存性がある理由の一つとして、これらの粒子線やエネルギー線の入射が完全に垂直ではないために、パターンのアスペクト比が大きくなるにつれその入射量が減少し加工速度が減少することが考えられている。粒子線の一つにイオンがある、イオンの方向性を向上させ加工速度のアスペクト比依存性を低減させた例として、1989年春季応用物理学関係連合講演会1p-L-6や、1993年春季応用物理学関係連合講演会31a-ZE-3がある。

【0011】加工速度がアスペクト比に依存するもう一つの理由に、パターンのアスペクト比が大きくなると、パターン底部の被エッチング面に被処理物と化学反応する中性粒子の供給量が減少することが上げられる。ここでいう中性粒子とは、供給ガスおよび供給ガスがプラズ

マ中で分解して生じたラジカルである。この考えに基づき、1992年プロシーディング・オブ・ドライプロセスシンポジウム (Proceeding of Dry Process Symposium) p. 211では、マイクロ波パワーを小さくして、入射イオン量に対する中性粒子数の比を大きくすることにより、アスペクト比5までのパターンで加工速度のアスペクト比依存性をなくした。

【0012】しかし、従来技術では、Siエッチングでアスペクト比10以上のパターンでは、加工速度のアスペクト比依存性を回避できなかった。そのため、アスペクト比の異なるパターンを同一工程で形成するときに、高アスペクト比パターンの底面で加工速度が極端に低下したり、低アスペクト比パターン底面で下地層が削れるという問題が生じた。LSI加工では、アスペクト比の異なるパターンを同一工程で形成する必要があり、微細化に伴いアスペクト比の差が大きくなっている。よってアスペクト比10以上の深孔や深溝パターンの加工でも加工速度がアスペクト比に依存しないパターン形成技術を確立することが課題である。

【0013】一方、高アスペクト比パターン加工では、エッチングの進行に伴い反応生成物等の影響によってエッチングプロセスに変化が生じる。このエッチングの変化は時々刻々と変わるため、常に最適なエッチング条件でエッチングが行われるには、エッチングを実時間制御する必要がある。従来、被処理物表面の反射光 (特公平5-46095号公報)、プラズマ発光 (特公平5-49756号公報) の同時測定によってエッチング条件を実時間制御するプロセスも考案されているが、これらの制御は、主にエッチングの終点を検知するもので、高アスペクト比パターン加工に対する適用ではない。

【0014】測定結果をもとにエッチング条件を実時間制御するには、測定結果とエッチング速度および装置内の状態との関係が明らかになっている必要がある。エッチングが進むに伴い、真空処理室内のガス組成も変化しており、エッチング条件の実時間制御し加工精度を上げるには、同時測定値とエッチング条件の関係を明らかにする手法の確立が課題である。また、同時測定を行わない場合でも、時間と共にエッチング状態がどのように変化するかを明らかにする必要がある。

【0015】

【課題を解決するための手段】真空処理室内に導入された処理ガスの一部はイオンおよびラジカルとなる。被処理物表面に深孔、深溝等のパターンがある場合、ラジカルおよび未分解の処理ガス (これらをまとめて中性粒子と呼ぶ) は、被処理物のパターンが深くなるに伴い、底面に入射する量が少なくなる。一方、イオンは、電界によって加速されるため、イオンの入射量のパターン依存性は小さい。一度、底面に入射したイオンは、表面に熱エネルギーを与えるため、表面に吸着したラジカルおよび処理ガスにエネルギーが伝わりエッチングが進行する。こ

の際、イオンは表面との相互作用によって電荷を失い、ラジカルもしくは処理ガスと同じ組成になる。

【0016】このイオンが変化した中性粒子は、あたかも底面から発生したかのごとくふるまうため、被処理物のパターンが深くなるにともなう、パターン内に滞在し底面に再度入射する量も増える。この結果、パターン底面（被エッチング面）における中性粒子の全入射量は、被処理物上部から直接入射する量とイオンが変化することによって供給される量の和になる。

【0017】本発明では、このイオンの性質を利用し、ラジカルおよび処理ガスの底面への全入射量が、被処理物のパターンに依存しないようにイオン入射量を制御する。すなわち、深い溝や深孔で、真空処理室から入射する中性粒子の不足分を、イオン入射で補うことによって、エッチング速度をパターンによらず一定にしたものである。

【0018】ところで、上述の解決手段だけでは、反応生成物のパターン底面への再吸着を考慮していない。反応生成物の吸着確率が、中性粒子の吸着確率の1/10以上の場合、反応生成物によるエッチング速度の低下が生じるため、反応生成物の影響を考慮したエッチングの制御が必要である。パターン底面で発生した反応生成物は、パターンのアスペクト比の増加に伴い、パターン内に滞在し底面に再入射する量も増える。

【0019】従って、エッチング速度がアスペクト比に依存しないようにするには、アスペクト比の増加と共に中性粒子の全入射量を増やし、反応生成物のパターン底面への吸着によるエッチング速度の低下を補償する必要がある。

【0020】本発明では、前述のパターン底面でイオンが中性粒子となる性質を利用し、アスペクト比の増加に伴い、真空装置に導入するマイクロ波のパワーをあげ、パターン底面へのイオン入射量を増加させることによって、反応生成物によるエッチング速度の低下を抑える。

【0021】マイクロ波パワーを上げることによって被処理物へのイオン入射量を増加させるには、なんらかの方法によってプラズマの密度が高い状態を維持する必要がある。通常のエッチング装置では、真空処理室装置外部に取付けたソレノイドコイルによってプラズマを真空処理室内に閉じ込める。1000W程度のマイクロ波パワーを真空処理室内に導入する場合、さらにソレノイドコイルを付加した装置が用いられる。本発明でも同様な装置を用いこの問題に対処する。

【0022】また、マイクロ波パワーを上げ、イオン入射量が増える被処理物表面に加わるエネルギーが増加し、温度が上昇する。このため、被処理物表面に形成されたマスクに耐熱性が無い場合、マスクが熱分解や融解を生じるため微細加工できなくなる。この問題に対しては、熱的に安定な無機マスクもしくは、ポリイミド、テフロン等の耐熱性ポリマを使用することによって解決でき

る。さらに、マイクロ波パワーを上げると装置の負荷限界を越える可能性がある。この問題は、マイクロ波をパルス化することによって、真空処理室へ加えられる時間あたりのパワーを抑えることによって解決できる。

【0023】

【作用】被エッチング処理物表面に溝や穴等のパターンがある場合、パターン内に入射した中性粒子（処理ガスまたはラジカル）は、直接、底面に入射する粒子の他、パターン内の側面で数回反射した後、パターンの底面、すなわち、被エッチング面に到達するものがある。この側面での反射は等方的であるため、パターン内に入射した粒子の一部分はパターン内から出てしまい底面へ到達できない。パターン底面に到達できる粒子の割合は、パターンの特徴を表すアスペクト比（深さ／パターンの幅）に大きく依存する。

【0024】図10に溝パターンの底面に到達する粒子の平らな表面に対する割合を計算した結果を示した。図10に示すように、中性粒子の入射量は、アスペクト比の増加と共に減少する関数で表すことができる。以後、アスペクト比をAで表し、アスペクト比の関数として、底面に到達する粒子の割合としてF(A)を用いる。

【0025】一度、底面に入射した粒子は、底面に吸着、もしくは底面で反射する。どちらが生じるかは、中性粒子の初期吸着確率Sと表面の吸着サイトが空いている割合によって決まる。中性粒子によって表面が覆われている割合をP（被覆率）で表すと、すでに粒子が吸着している表面には新たに粒子が吸着できない場合、底面に入射粒子が吸着する確率は、 $(1-P)S$ となる。このような吸着確率を持つ粒子にはF, C1, Oなどがあげられる他、多くの粒子で近似的に成り立つ。残りの $1-(1-P)S$ が底面で反射する確率である。

【0026】底面で反射した粒子が、再び、パターンの側面に入射すると等方的に反射するため、底面へ入射する場合と同じ法則に従う。故に底面で反射した粒子が被処理物の外に出ていく割合はF(A)で表され、残りの $1-F(A)$ が底面に再入射する。このように再入射する効果を考慮するとパターン底面での中性粒子の入射量 Γ_n は数1で表される。

【0027】

【数1】

$$\Gamma_n(A) = \frac{\Gamma_n(0) \times F(A)}{1 - \{1 - (1-P)S\} \times [1 - F(A)]} \quad \text{数1}$$

【0028】一方、真空処理室内で発生したイオンは、電界によって被処理物表面に対し垂直方向に加速されるため、被処理物表面に対して垂直に形成された溝や深孔の底面（被エッチング面）へのイオン入射量と被処理物表面の平坦な部分への入射量は等しくなる。底面へ入射したイオンは、底面に熱エネルギーを与えると同時に、イオンは電気的に中和され、中性粒子となる。その後の運

動は、上記の中性粒子の被処理物構造内部での運動と同じになる。すなわち、底面で反射した場合、 $F(A)$ が被処理物表面の外（真空処理室内）に出、残りの $1-F(A)$ が再度底面に中性粒子として入射する。一般のエッチングでは、イオンは処理ガスから真空処理室内で発生するため、イオンから変化した中性粒子と前述の処理*

$$\Gamma_m(A) = \Gamma_{ion} + \frac{\Gamma_{ion} \{1 - (1-P)S\} \{1 - F(A)\}}{1 - \{1 - (1-P)S\} \times \{1 - F(A)\}} \quad \text{数2}$$

【0030】エッチング速度 E_R は真空処理室内から供給された中性粒子およびイオンが変化した中性粒子の吸着による被覆率 P 、イオン入射量 Γ_{ion} およびエッチング率 Y の関数で表される。すなわち、 $E_R = P \times \Gamma_{ion} \times Y$ である。エッチング率 Y は、一個のイオンあたりのエッチング量で、概ね、イオン運動エネルギーの平方根に比例する。表面被覆率 P は、T. M. メイヤー(Mayer)らのモデル(ジャーナルオブ パキュウム サイエンス アンド テクノロジー (J. Vac. Sci. Technol.) 21, p757 (1982))に従うと数3で表される。

【0031】

【数3】

$$P = \frac{1}{1 + \frac{m \times Y \times \Gamma_{ion}}{S \Gamma_t}} \quad \text{数3}$$

【0032】ここで、 Γ_t は中性粒子の全入射量、 m は※

$$\Gamma_t(A) = \Gamma_t(0)$$

【0035】

【数5】

$$\Gamma_{ion} = \Gamma_{n(0)} \frac{(1-P)S}{1 - (1-P)S} \quad \text{数5}$$

【0036】

【数6】

$$P = \frac{1}{1 + mY(1-P)S} \quad \text{数6}$$

【0037】表面被覆率 P は、0から1までであることを考慮すると、 $m \times Y \times S$ の範囲は、0.77から1.0でなければならない。この条件を満足するときに、イオン入射量を数5で与えれば、エッチング速度が被処理物表面のパターンに依存しないエッチングができる。実際のエッチングで、中性粒子の初期吸着確率が0.3から1.0であること、 m は1から2程度であることから、エッチング率 Y を1.0以下に抑さえる必要がある。

【0038】エッチング率 Y は、装置内の電極にかかる高周波電界のパワーに平方根で比例するため、容易に制御できる。この条件は、処理ガス、被処理物の材質に大きく依存する。数5を満足する条件として概ね、エッチング率1以下、イオン電流密度 5 mA/cm^2 以上、真空処理室内のイオンの割合2%以上、中性粒子の吸着確率0.3から0.9程度が目安となる。

【0039】上記の内容をまとめると、アスペクト比の増加と共に減少する中性粒子の入射量を、イオンとして

*ガスから発生した中性粒子はほぼ同じ原子から構成される。イオンが入射後反射せずに吸着する場合も考慮すると、イオンから変化した中性粒子の入射量 Γ_m は、数2で表される。

【0029】

【数2】

※表面原子一個が表面から脱離することによって発生する吸着サイトの数で、例えば、 $S1$ の塩素ガスエッチングでは $m=2$ となる。 Γ_t は上記数1および数2の和で表され、数3を用いたエッチング速度の式にはアスペクト比依存性が含まれることになる。アスペクト比に依存する項は、 Γ_t だけである。 Γ_t がアスペクト比に依存しないような条件を見いだせば、エッチング速度のアスペクト比依存性をなくすることが可能である。

【0033】本発明のアイデアは、この条件を見いだすことに基礎をおいている。その条件は、数4を解くことによって得られる。数4を解くと数5が得られる。数5を数3の Γ_t に代入し Γ_{ion} を消去すると表面被覆率 P は数6となる。

【0034】

【数4】

…(数4)

形状底面に供給することによって、中性粒子が底面での不足を補うことによって、エッチング速度がアスペクト比に依存しないエッチングを実現するのである。

【0040】その模式図を図11に示す。図12には、上記のモデル式に基づくエッチング速度のアスペクト比依存性の計算結果を示す。

【0041】反応生成物の底面への吸着が大きい場合、アスペクト比の増加に伴い、反応生成物の底面への再入射量が増えるため、その影響も大きくなり、上記の条件を満足していてもエッチング速度は低下してしまう。このように反応生成物がエッチング反応を阻害している場合、アスペクト比の増加と共にイオン入射量を増加させればよい。

【0042】その増加量は、反応生成物の吸着確率と反応生成物のパターン底面への入射量の積によって表される量と同程度である。反応生成物の入射量は、エッチング速度とパターン内での粒子の滞在量から求めることができる。イオン入射量を増加させる方法としてマイクロ波パワーを上げる方法がある。マイクロ波パワーを上げるだけでは、十分なイオン電流が得られないときは、なんらかの方法によってプラズマの密度の高い状態を維持する必要がある。通常のエッチング装置では、真空処理室装置外部に取付けたソレノイドコイルによってプラズマを真空処理室内に閉じ込める。1000W程度のマイクロ波パワーを真空処理室内に導入する場合、さらにソ

レノイドコイルを付加した装置が用いられる。

【0043】本発明では、十分なイオン電流密度をえるため、2種類のソレノイドコイルを有する装置を用いる。

【0044】また、マイクロ波パワーを上げ、イオン入射量が増える被処理物表面では、加わるエネルギーが増加し、表面の温度が上昇する。表面温度の上昇は、Siエッチングの場合、 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ あたり 10°C 程度であるので $30\text{mA}/\text{cm}^2$ のイオン電流では、被処理物処理台を -100°C に冷却しても、表面温度は 200°C 程度まで上昇する可能性がある。このため、被処理物表面に形成されたマスクに耐熱性がない場合、マスクが熱分解や融解を生じるため微細加工できなくなるので、熱的に安定な無機マスクもしくは、ポリイミド、テフロン等の耐熱性ポリマを使用する。

【0045】さらに、装置のマイクロ波パワーを上げていくと、装置への負荷が大きくなり、通常の装置ではそのパワーに耐えることが難しくなる。例えば前記の中性粒子の全供給量がアスペクト比に依存しない条件が、一般的な真空処理装置で実現できない条件であることも十分に考えられる。真空処理室の構造および材質を強固なものにすればよいのであるが、コストは大きくなる。

【0046】そこで、この問題を解決する方法の一つにマイクロ波のパルス化がある。パルス化により、真空処理室へ加えられるパワーを抑えることができるので、装置の大幅な改造は不要となる。パルス化により、エッチング速度は、マイクロ波のパルス幅（時間）でのエッチング速度とパルスとパルスの間のエッチング速度の平均で与えられる。パルスとパルス間ではイオン入射量が減るためエッチング速度は大幅に低下するので、パルスとパルス間でのエッチングによる影響は小さく、エッチング速度のアスペクト比依存性は、主にマイクロ波のパワーによって決まる。従って、マイクロ波のパルス化により、エッチング装置の大幅な変更なしにマイクロ波パワーを上げ、エッチング速度のアスペクト比依存性を低減できる。この際、通常のエッチング装置では、マイクロ波パワーの増加に伴い、パルス幅を低下もしくはパルス間隔を大きくし、装置への時間あたりの負荷を約300W秒以下に抑えさる必要がある。

【0047】さらに、イオン入射量によってエッチング速度のアスペクト比依存性を制御できるという性質を利用し、一回の加工で深い溝と浅い溝を同時に形成することができる。この場合、目的の形状に合わせて、マイクロ波パワーを制御する必要がある。

【0048】

【実施例】

（実施例1）本発明によるドライエッチング装置の一実施例を図1に示す。この装置では真空処理室1にエッチングガスを導入し、マイクロ波発生器2で2.45GHzの高周波を発生させ、この高周波を導波管3を通じてマイクロ波導入窓14を介して真空処理室1に輸送してガスプラズマを発生させる。高効率放電のために磁場発生用のソレノイドコイル4を真空処理室周辺に二つ配置し、875ガウスの磁場が処理台のほぼ真上にくるように二つのコイル電流を制御し、電子サイクロトロン共鳴を用いて高密度プラズマを発生させた。真空処理室1には試料台5があり、この上にウエハ6を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。

【0049】エッチングガスは、ガス導入口7から真空処理室1に導入され、排気ポンプ8により真空処理室1の外に排気される。この際コンダクタンスバルブ9により、排気速度を変えることができる。

【0050】ウエハを設置する試料台5にはRF電源13を備え、400Hzから13.56MHzまでのRFバイアスを印加できるようにした。試料台5は冷却機構および加熱機構を有し、ウエハ温度を制御したエッチングを実施することができる。

【0051】処理ガスはガス管11を通し、ガス流量コントローラ10を経て、バッファ室12を通してメッシュ状の孔のガス導入口7から真空処理室1に導入する。バッファ室12を設けたことと、メッシュ状の孔によりガス開口面積を広くしたことにより、ガス導入時のガス流速を音速の1/3以下にし、かつ均一な流れができる。さらに本装置は、ガス組成分析装置15とマイクロ波パワーを制御するための制御用コンピュータ16が接続されている。

【0052】反応生成物の分圧は、被処理物上の構造のアスペクト比が大きくなるに伴い減少していく。反応生成物の吸着を考慮したシミュレーションによると反応生成物の分圧は、図2に示すように、アスペクト比の増加とともに減少していく。従って、エッチング中にガス組成を分析することによって、エッチング中の被処理物がどこまでエッチングが進んだか情報を得ることができる。このシミュレーション結果をもとにガス組成分析装置として質量分析計を用い、反応生成物減少分にもないマイクロ波パワーを増加させるように制御する。

【0053】本装置に処理ガスとして塩素ガスを40scm流し、全圧が0.5mTorr、試料台の温度が -100°C となるようにして、幅 $0.3\mu\text{m}$ のトレンチ構造が形成されるようにSiO₂マスクを施したSiウエハのトレンチ構造エッチングを行う。イオン運動エネルギーが100eV以下になるようにRFバイアスを13.56MHz、 $1\text{W}/\text{cm}^2$ とするこの時のエッチング率は0.9である。またイオン電流密度が約 $8\text{mA}/\text{cm}^2$ になるようにマイクロ波パワーを500Wにする。理論的には、この条件で中性粒子入射量のアスペクト比依存性はなくなる。

【0054】プラズマ電子密度の測定では真空処理室内のイオンの割合は3%である。この条件で幅 $0.3\mu\text{m}$

トレンチパターンまでは、約350nm/minの速度でエッチングが進む。同じエッチング条件でアスペクト比10以上の溝を形成するとエッチング速度は低下する。アスペクト比12でエッチング速度は10%低下し、アスペクト比15では30%の低下である。

【0055】図2を計算したモデル式に基づいて、反応生成物の分圧の実時間測定の結果から、コンピュータによってエッチングパターンのアスペクト比を予測し、アスペクト比が大きくなるにつれ、コンピュータに接続されたマイクロ波発生装置のパワーを制御する。マイクロ波パワーの初期値を500Wにしてエッチングを行うと、時間と共にマイクロ波パワーは上昇する。エッチング速度はアスペクト比30まではほぼ一定で、マイクロ波パワーを3000Wにしてエッチングを続けるとアスペクト比60までエッチングが進む。マイクロ波パワー3000Wでイオン電流密度は、約30mA/cm²である。

【0056】被処理物をGaAsにしても、ほぼ同様の結果が得られる。

【0057】イオンの代わりに中性ビームを用い、同様に中性ビームを制御すると、アスペクト比20までエッチング速度の低下は見られない。

【0058】（実施例2）実施例1の装置を用いてCF₄ガスによる直径0.3μmのSiO₂膜深孔加工を行う。処理ガスとしてCF₄ガスを40sccm流し、全圧が0.5mTorrになるようにする。イオン運動エネルギーが500eVになるようにRFバイアスを13.56MHz、10W/cm²にする。この時のエッチング率は0.9である。またイオン電流密度が10mA/cm²になるようにマイクロ波パワーを700Wにする。この時の平面のエッチング速度は300nm/minである。反応生成物としてCOの濃度を実時間測定しながらエッチングを進め、COの分圧が約5%低下する毎にマイクロ波パワーを50Wずつあげる。マイクロ波パワーを上げるとCOの分圧の低下は2%に抑えられる。本実施例では、アスペクト比7までエッチング速度の低下は見られず、アスペクト比15の深孔がSiO₂膜上に加工できる。ほぼ同じ条件で酸化チタン、酸化タンタルのエッチングを行うと、ほぼアスペクト比10までのエッチングが可能である。

【0059】（実施例3）実施例1の装置で、プラズマによる腐食を防ぐため、ガス分析装置をコンダクタンスバルブと排気ポンプの間に取付け、マスクとしてSiO₂を用い、幅0.2μmの溝をタングステンシリサイドに加工する。処理ガスとして塩素ガスを400sccm流し、全圧が5mTorr、ウェハ温度が-50℃になるようにする。イオン運動エネルギーが100eVになるようにRFバイアスを13.56MHz、1W/cm²にする。この時のエッチング率は約0.7である。またイオン電流密度が20mA/cm²になるようにマイクロ波パワーを2

000Wにする。

【0060】反応生成物としてSiCl₂の濃度を実時間測定しながらエッチングを進め、SiCl₂の分圧が約5%低下する毎にマイクロ波パワーを50Wずつあげる。マイクロ波パワーを上げるとSiCl₂の分圧の低下は2%に抑えられる。本実施例では、アスペクト比5までエッチング速度の低下は見られず、アスペクト比10の溝がタングステンシリサイド上に加工できる。マイクロ波パワーの増加とともにウェハ温度を約10℃ずつ下げると、加工形状が改善され、溝は太くならない。

【0061】（実施例4）本発明によるドライエッチング装置の第二の実施例を図3に示す。本実施例の装置は、実施例1の装置に処理ガスのガス流量が制御できるように制御用コンピュータ16とガス流量コントローラ10が出力パワー制御ケーブル18によって接続されている。

【0062】本装置を用いてCF₄/CHF₃混合ガスによる直径0.3μmの深孔加工に適用する。被処理物として図4に示すSi基板105上にSiO₂膜102および窒化ケイ素膜101が形成されているものを用いる。本実施例で、窒化ケイ素膜101に深孔109を形成する。処理ガスとしてCHF₃/CF₄の1:1混合ガスを40sccm流し、全圧が0.5mTorrになるようにする。イオン運動エネルギーが250eVになるようにRFバイアスを13.56MHz、7W/cm²にする。この時のエッチング率は0.9である。またイオン電流密度が10mA/cm²になるようにマイクロ波パワーを700Wにする。この条件で平面のエッチングを行うと窒化ケイ素とSiO₂のエッチング速度の比は、10:1である。

【0063】本実施例の被処理物をエッチングすると、アスペクト比4のところまで窒化ケイ素をエッチングするとSiO₂が部分的に現われる。この時のエッチング速度は400nm/minである。そのままエッチングを続けるとSiO₂の一部と窒化ケイ素膜がさらにエッチングされる。この深孔内での窒化ケイ素のSiO₂に対するエッチング速度の比は、6程度になる。アスペクト比4でマイクロ波パワーを上げ、イオン電流密度を20mA/cm²にすると、窒化ケイ素のエッチング速度は大きくなり、エッチング速度比は8:1になる。

【0064】さらに、コンピュータ制御によってエッチングの経過と共に処理ガスのガス流量をCF₄については1分毎に1.5sccmずつ減らし、CHF₃の組成を1分毎に1.5sccmずつ増やすと深孔内での窒化ケイ素とSiO₂のエッチング速度比は平面と同じ10:1まで改善される。

【0065】（実施例5）本発明によるドライエッチング装置の第三の実施例を図5に示す。この装置では真空処理室1にエッチングガスを導入し、マイクロ波発生器2で2.45GHzの高周波を発生させ、この高周波を導

19

波管3を通しマイクロ波導入窓4を介して真空処理室1に輸送してガスプラズマを発生させる。高効率放電のために磁場発生用の2種類のソレノイドコイル4を真空処理室周辺に配置し、875ガウスの磁場による電子サイクロトロン共鳴を用いて高密度プラズマを発生させた。真空処理室1には試料台5があり、この上にウエハ6を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。

【0066】エッチングガスは、ガス導入口7から真空処理室1に導入され、排気ポンプ8により真空処理室1の外に排気される。この際コンダクタンスバルブ9により、排気速度を変えることができる。

【0067】ウエハを設置する試料台5にはRF電源13を備え、400Hzから13.56MHzまでのRFバイアスを印加できるようにした。試料台5は冷却機構および加熱機構を有し、ウエハ温度を制御したエッチングを実施することができる。

【0068】処理ガスはガス管11を通し、ガス流量コントローラ10を経て、バッファ室12を通してメッシュ状の孔のガス導入口7から真空処理室1に導入する。バッファ室12を設けたことと、メッシュ状の孔によりガス開口面積を広くしたことにより、ガス導入時のガス流速を音速の1/3以下にし、かつ均一な流れができる。

【0069】本装置に処理ガスとして塩素ガスを40sccm流し、全圧が0.5mTorr、ウエハの温度が-100℃になるようにして、幅0.3μmのトレレンチ構造が形成されるようにSiO₂マスクを施したSiウエハのトレレンチ構造エッチングを行う。イオン運動エネルギーが100eV以下になるようにRFバイアスを13.56MHz、1W/cm²とする。この時のエッチング率は0.9である。またイオン電流密度が8mA/cm²になるようにマイクロ波パワーを約500Wにする。理論的には、この条件で中性粒子入射量のアスペクト比依存性はなくなる。プラズマ電子密度の測定では真空処理室内のイオンの割合は3%である。この条件で幅0.3μmの溝パターンエッチングを行うとアスペクト比7のトレレンチパターンまでは、約350nm/minの速度でエッチングが進む。同じエッチング条件でアスペクト比7以上の溝を形成するとエッチング速度は低下する。アスペクト比10でエッチング速度は10%低下し、アスペクト比15では30%の低下である。

【0070】エッチング速度の低下を抑えるため、アスペクト比7までエッチングが進んだ後、1分毎にマイクロ波パワーを100Wずつ上げる。その結果、アスペクト比20までエッチング速度は低下しない。その後、マイクロ波パワーを3000Wまで上げ、エッチングを進めると、アスペクト比50までエッチングは進行する。この際、ウエハの表面温度は約180℃まで上昇する。

【0071】(実施例6)本発明による他の実施例を示す。実施例5の装置を用いて、処理ガスとして塩素ガス

20

を240sccm流し、全圧が3mTorr、ウエハ温度が-120℃になるようにして、直径0.3μmの深孔が形成されるようにSiO₂マスクを施したSiウエハのトレレンチ構造エッチングを行う。イオン運動エネルギーが100eV以下になるようにRFバイアスを800KHz、1W/cm²とするこの時のエッチング率は0.95である。またイオン電流密度が35mA/cm²になるようにマイクロ波パワーを約2500Wにする。プラズマ電子密度の測定では真空処理室内のイオンの割合は3%である。深孔パターンのエッチングを行うとアスペクト比15のトレレンチパターンまでは、約900nm/minの速度でエッチングが進む。同じエッチング条件でアスペクト比15以上の溝を形成するとエッチング速度は低下する。アスペクト比20でエッチング速度は10%低下する。このエッチング条件では、アスペクト比45までエッチングできる。ヘリコン共振型RIEを用いてもほぼ同様な結果が得られる。

【0072】(実施例7)本発明による他の実施例を示す。実施例5の装置を用いて幅0.07μmから0.1μmの不純物がドーピングされたPoly-Siのトレレンチ加工を行う。処理ガスとしてSF₆。ガスを140sccm流し、全圧が3mTorr、ウエハ温度が-150℃になるようにする。イオン運動エネルギーが100eV以下になるようにRFバイアスを13.56MHz、2W/cm²にする。この時のエッチング率はほぼ1.5である。またイオン電流密度が20mA/cm²になるようにマイクロ波パワーを約1500Wにする。

【0073】被処理物として図6に示すSi基板105上にゲート電極103、SiO₂膜102およびドープドPoly-Si膜110が形成されているものを用いる。さらに被処理物に、SiO₂マスクを設け、幅0.07μm、0.08μm、0.1μmのトレレンチが形成されるようにマスクに溝112、113、114を設ける。

【0074】エッチング速度のアスペクト比依存性を計算した結果を図7に示す。計算から、約6mA/cm²でエッチング速度のアスペクト比依存性が最大になる。この結果をもとに被処理物のエッチング速度がアスペクト比の増加と共に減少するように、エッチング開始3分後にマイクロ波パワーを約750Wまで下げる。このときのイオン電流密度は約8mA/cm²である。マイクロ波パワーを減少させることによって、幅0.07μmのトレレンチでは、幅0.1μmのトレレンチに比べエッチング速度が低下する。この結果、エッチング終了時にエッチングされたトレレンチの深さは、トレレンチの幅に依存する。

【0075】エッチング終了後、容量絶縁膜116形成のためドープドpoly-Si表面に酸化 tantalum 膜をCVDで形成する。エッチング終了時のpoly-Si上に加工された溝のアスペクト比は約7である。

【0076】酸化タantal形成後の被処理物を図8に示す。この絶縁膜により容量30 fFのコンデンサが形成される。本発明によりオーバーエッチングすることなしに、異なったアスペクト比をもつ形状を同時に加工することができる。このことは、同時に、エッチングにおける下地との選択性を考慮する必要がないため、RFバイアスを大きくし、エッチング速度を速くすることができる。

【0077】（実施例8）本発明によるドライエッチング装置の第四の実施例を図9に示す。この装置は、実施例4の装置に、真空処理室内に導入するマイクロ波をパルス制御する制御装置19とパルス制御可能なマイクロ波発生装置2および真空処理室の冷却装置22が付加されている。本装置では、マイクロ波は1μsから10msのパルスとして真空装置内に導入される。

【0078】本装置を用いて、CF₄/C₂H₂F₄混合ガスを処理ガスとして用い、直径0.2μmのSiO₂膜深孔加工を行う。CF₄ガスを150sccm、C₂H₂F₄を100sccm流し、全圧が3mTorr、ウエハ温度が-70℃となるようにする。イオン運動エネルギーが約500eVになるようにRFバイアスを13.56MHz、約10W/cm²にする。この時のエッチング率は0.9である。またイオン電流密度が50μs程度の時間に約30mA/cm²になるようにマイクロ波の瞬間最大出力を約3000Wとする。マイクロ波パルスの間隔を約50μs、パルス幅を約50μsとする。

【0079】この条件でエッチングを行うと、アスペクト比10までエッチング速度の低下はほとんどない。さらにエッチングを進めると、アスペクト比20の深孔が形成できる。マイクロ波パルスのパワーを5000Wまであげることにより、パルス幅を50μs、パルス間隔を100μsにすると、アスペクト比30までエッチングできる。パワーを5000Wのまま、パルス幅を5ms、パルス間隔を10msにしてもほぼ同様な結果になる。

【0080】（実施例9）本発明による他の実施例を示す。実施例8の装置を用い、銅の半導体装置の配線加工を行う。Cl₂/SiCl₄混合ガスを処理ガスとして用い、幅0.2μm配線を形成するため、アスペクト比2、幅0.1μmの溝をエッチングによって形成する。

【0081】Cl₂ガスを200sccm、SiCl₄ガスを100sccm、全圧が20mTorr、ウエハ温度が-30℃となるようにする。イオン運動エネルギーが約500eVになるようにRFバイアスを13.56MHz、約10W/cm²にする。この時のエッチング率は1.2である。またイオン電流密度が100μs程度の時間に約60mA/cm²になるようにマイクロ波の瞬間最大出力を約7000Wとする。

【0082】このエッチングにより、エッチング速度約1μm/分で銅配線が加工される。この条件でタングス

テン、チタンおよび白金を加工することもできる。アルミニウムの場合、ウエハ温度を-100℃、マイクロ波パワー3000Wでエッチングを行うことにより、加工が行える。

【0083】

【発明の効果】本発明によれば、エッチング反応を引き起こす中性粒子の入射量が被処理物の表面パターンに依存しないように制御できるため、エッチング速度は、あらゆる底面で等しくなる。その結果、Siトレレンチエッチング、SiO₂コンタクトホールエッチング等の高い方向性が必要なエッチングで、エッチングプロセスとして安定かつ信頼性の高いエッチングを行うことができる。また、エッチング率を抑え、イオンの運動量を小さくできるため、薄膜間の選択性の高いエッチングが可能となる。

【0084】本発明の効果は前述のエッチング装置に限らず、例えば、RIEやマグネトロン型RIE等の他の装置でも、同様の効果がある。さらに、処理ガスとして前述のガスに限らずF₂、HBr、Br₂などのハロゲンを含むガスおよび酸素を含むガスを用いた場合も同様の効果がある。また本発明ガス組成およびガス流量の制御は、前述の2種類のガスの流量および組成の制御に限らず、1種類および3種類以上でも同様の効果が得られる。また本発明の効果は、真空処理室内で生じるイオンの代わりに指向性の高い中性ビームを用いても同様の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のドライエッチング装置の一実施例の断面図。

【図2】本発明の実施例1に用いる反応生成物の分圧のアスペクト比依存性を示した特性図。

【図3】本発明のドライエッチング装置の第二の一実施例の断面図。

【図4】本発明の実施例3で用いる被処理物の断面図。

【図5】本発明のドライエッチング装置の第三の一実施例の断面図。

【図6】本発明の実施例6で用いる被処理物の断面図。

【図7】本発明の実施例6で用いるエッチング速度のアスペクト比依存性とイオン電流密度の関係を示した特性図。

【図8】本発明の実施例6で用いる被処理物処理後の断面図。

【図9】本発明のドライエッチング装置の第四の一実施例の断面図。

【図10】本発明の溝の底面に入射する粒子数の割合を示した特性図。

【図11】本発明の中性粒子の溝への供給を表した説明図。

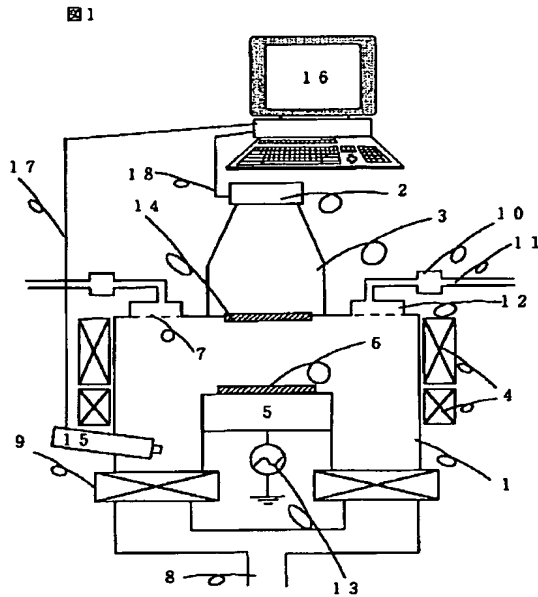
【図12】本発明の計算シミュレーション結果の説明図。

23

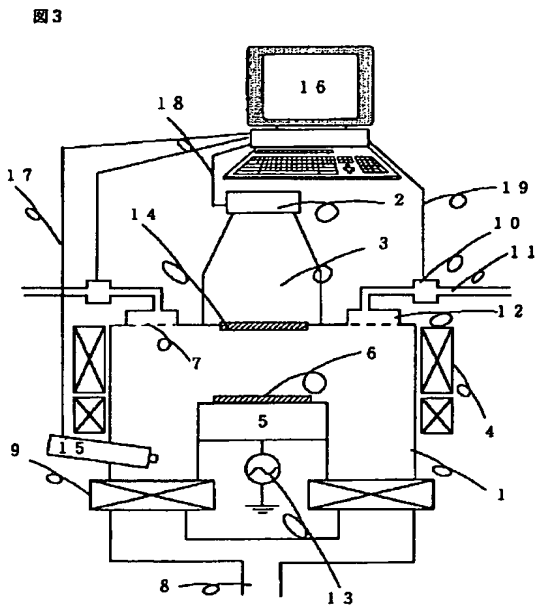
【符号の説明】

1…真空処理室、2…マイクロ波発生器、3…導波管、
4…ソレノイドコイル、5…試料台、6…ウェハ、7…
ガス導入口、8…排気ポンプ、9…コンダクタンスバルブ、10…ガス流量コントローラ、11…ガス配管、1

【図1】



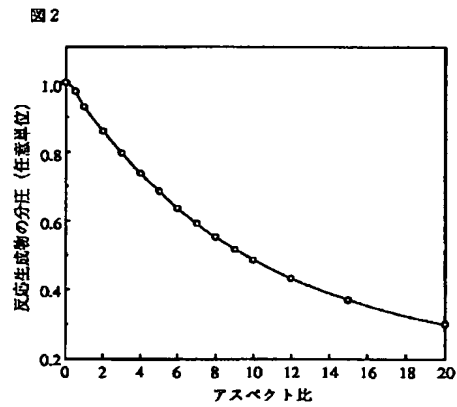
【図3】



24

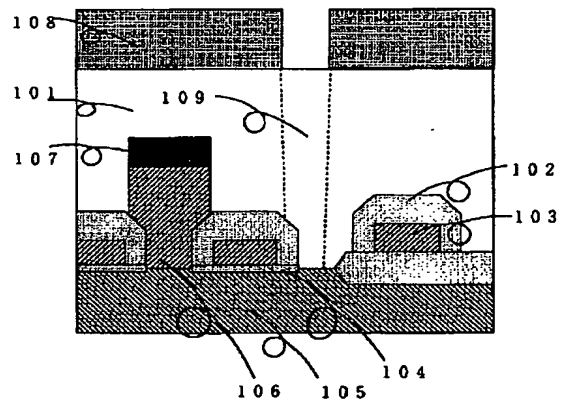
2…パッファ室、13…RF電源、14…マイクロ波導
入窓、15…ガス組成分析装置、16…制御用コンピュ
ータ、17…コンピュータ用入力ケーブル、18…出力
パワー制御用ケーブル。

【図2】



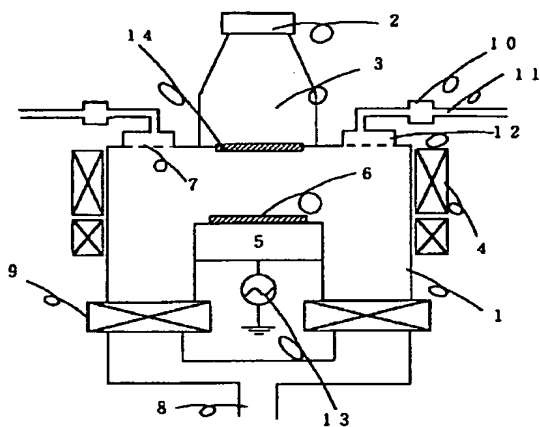
【図4】

図4



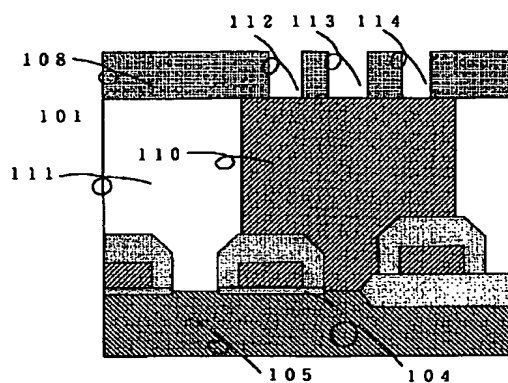
【図5】

図5



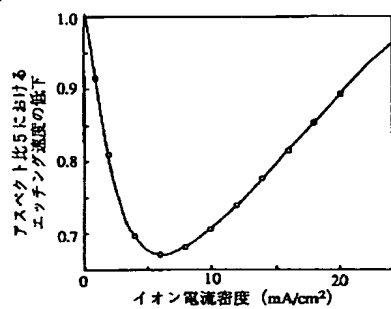
【図6】

図6



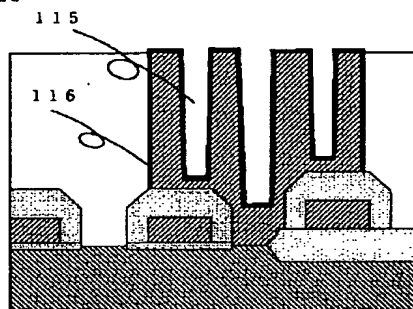
【図7】

図7



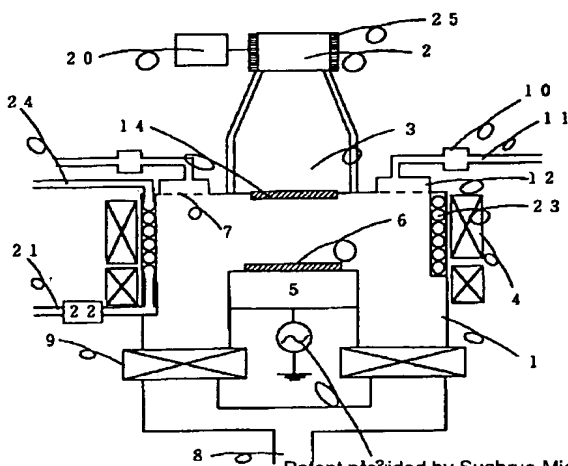
【図8】

図8



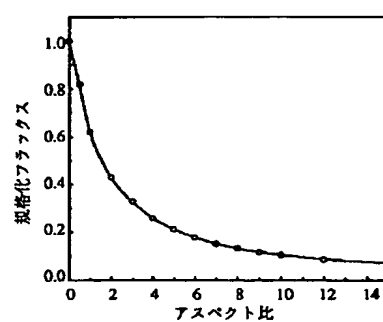
【図9】

図9



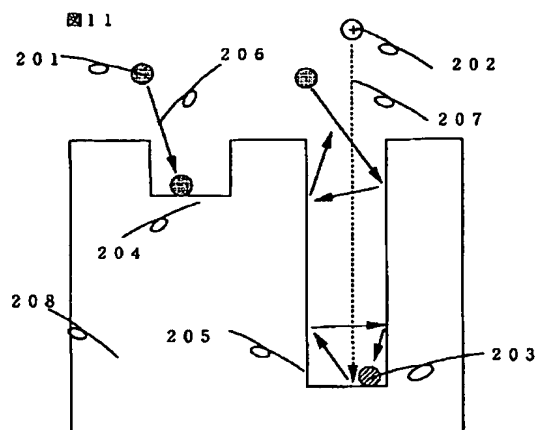
【図10】

図10



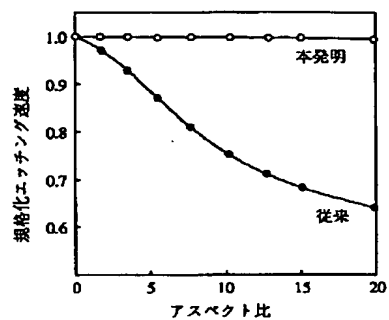
Patent provided by Sughrue Mion, PLLC - <http://www.sughrue.com>

【図11】



【図12】

図12



フロントページの続き

(72)発明者 辻本 和典
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 鳥居 和功
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 田地 新一
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
株式会社日立製作所内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.